

野菜の冷凍保存技術の開発

中川良二・北川直揮*・八十川大輔・池田隆幸・長島浩二

Development of a Freezing Technology for the Preservation of Vegetables

Ryoji NAKAGAWA, Naoki KITAGAWA, Daisuke YASOKAWA, Takayuki IKEDA
and Koji NAGASHIMA

This study investigated a freezing method utilizing saccharides for the long-term preservation of vegetables. When a fresh cucumber went through a standard freeze-thaw treatment, almost all of the cells were damaged, drips formed and the cucumber became spongy. Compared with slow freezing at -20°C , quick freezing at -80°C reduced drip formation, but did not prevent cells from bursting.

Cell bursting was successfully arrested by first dehydrating cucumbers with a sugar solution and then quick freezing at -80°C . A mixture of 20% sorbitol and 20% dextrin was found to be the most potent protector among the sugar solutions tested. Using this solution, cell vacuoles remained intact after the freeze-thaw treatment, thereby indicating that a cucumber treated with this mixture would lose little nutritional value.

Sensory tests were performed using lightly pickled cucumbers treated with the sugar mixture prior to freezing. Almost all testers gave positive assessments of the pickled cucumbers.

今日、野菜は品種改良や生産施設の拡充、輸送・流通機構の整備によって年間を通じて供給されるようになり、その生産は年々増加傾向にある。また、海外からの輸入野菜の増加も顕著になって来ている。しかしながら、その一方で、作付け変化、天候、産地の時期移動などによる品質、価格の不安定性は生産者や加工業者の悩みのタネであり、味や栄養価の面での問題点も指摘されている。

一般的に、野菜は旬のものが美味しく、旬の野菜は栄養価に富んでいると言われている。この美味しい旬の野菜を生あるいは生に近い状態で保存する技術を開発できれば、これらの問題は解決されると考えられる。

例えば、キュウリはウリ科の野菜で、元々は夏野菜であり、温暖な気候に適し、生育温度は $18\sim 25^{\circ}\text{C}$ とされ、霧でも凍害を受ける。従って、以前はぬか漬け、塩漬けなどの漬物にして保存するしかなかったが、今日ではキュウリなど野菜は栽培、流通技術の進歩によって年中

入手できるようになり、キュウリの食べ方もサラダや浅漬けなど生食が主になってきている。従って、最も美味しいとされる旬のキュウリを生に近い状態で保存することは、多くのメリットがある。しかしながら、キュウリは冷凍することが特に困難な野菜とされ、プランチングを行う従来の凍結方法では解凍後、サラダや浅漬けには利用できない。

また、タマネギはユリ科に属し、キュウリに比較すると貯蔵性がよく、低温で長期間保蔵できるが、歩留まりが悪くなる。アメリカなどでは凍結保存も行われているが、プランチングを行っているためスープやソースなど形を残さなくても良い調味原料用として利用されており、サラダやマリネなどには適さない。

今回、我々はこれまで冷凍保存することが困難であったキュウリ、タマネギなどの野菜を糖類に浸漬後、急速冷凍することにより、これら旬の美味しい野菜を長期間保存する技術を開発したので報告する。

実験方法

1. 材料

キュウリおよびタマネギは旬の時期に道内産の市販品を購入した。ソルビトール、グルコース、マルトース、シュクロース、可溶性でんぷんは市販の特級試薬を用いた。デキストリンは住友商事(株)より入手した。

2. 凍結処理野菜の調製

キュウリ、紫タマネギをスライスし、これに5~40% (W/V)の濃度になるように糖を添加し、4°Cの冷蔵庫で24時間浸漬した。糖処理した試料は-20°C又は-80°Cのフリーザーで1週間以上凍結下に置いた。凍結試料の解凍は室温で行った。

3. 顕微鏡観察

細胞内容物の確認は、液胞の存在を検鏡することで行った。キュウリの液胞を観察する場合は切片を0.1% ニュートラルレッドで染色し、光学顕微鏡で観察した。紫タマネギは液胞にアントシアニンを含むので、染色処理せずに光学顕微鏡で液胞を観察した。

4. 糖の定量

キュウリ組織内のデキストリン含量は、表面に附着しているデキストリンを洗い流し、ポリトロン (KINEMATICA 製) で破碎した後、フェノール・硫酸法¹⁾で測定した。

5. 凍結処理したキュウリの試食

試食は、凍結処理したキュウリに調味液を入れて浅漬けにしたものを色、味、歯ごたえの3点に関し、よい(または好き)、普通、悪いの3段階評価で行った。パネラーは一般人91人であった。

実験結果および考察

1. 生野菜の凍結

一般的に、野菜は生のままで凍結すると、解凍後にドリップを生じスポンジ化する。これは細胞組織を凍結させる際に、細胞中で成長した氷結晶で細胞が破壊され、細胞の内容物が溶出するために起こる。これを防ぐには0°C~5°Cの間にある最大氷結晶生成帯をできるだけ速く通過させることが必要であると言われている²⁾。事実、生キュウリを-20°Cと-80°Cで凍結させた場合、ドリップは明らかに-80°Cの方が少なかった。これは温度が低いほど急速に最大氷結晶生成帯を通過するため、細胞内の氷結晶が成長せず非常に細かくなり、破壊される細胞が少ないためと思われた。従って、野菜を冷凍するには急速凍結などにより氷結晶の成長を抑えることが不可欠

である。しかし、生キュウリを-80°Cで急速凍結し、解凍後に液胞の有無を観察したが、多くの細胞で液胞は破壊され、細胞内容物は溶出していた。このことから、キュウリなど生野菜はそのままで急速凍結しても良好に保存することが困難であり、何らかの処理が必要であることが明らかとなった。

2. 糖処理野菜の凍結

植物細胞が凍結傷害を防御する要因の一つとして、糖質など細胞質内の親水性溶質の介在による効果が考えられている³⁾。例えば、冬ライ麦を低温に置くと、細胞内に多量の糖を蓄積するし、ナナカマドやバラはソルビトール、クチナシはマンニトール、マメ類ではラフィノースやスタキオースを蓄積している。カット野菜なども、糖類を添加することで冷蔵や冷凍時の保存性が増すことは良く知られている。しかしながら、キュウリなどの野菜は糖液に浸漬しただけでは生に近い状態に保つことはできない。

我々は低温に弱い野菜を凍結保存するためには細胞内だけではなく、植物細胞の骨格である細胞壁や細胞間隙も保護しなければならぬと考えている。吉田ら³⁾はキクイモの塊茎細胞などを用いた研究から、冬季において植物細胞が耐凍性を増加させるのに細胞壁が少なからず関与しているとの推測をしており、これは我々の考えを支持するものである。

そこで、我々は野菜の細胞壁を保護するという考えから低分子および高分子の糖類を用いて野菜の冷凍保存を試みた。キュウリを低分子糖 (ソルビトール、グルコース、マルトース、シュクロース) 単独あるいは高分子糖 (デキストリン、可溶性デンプン) との組合せで処理した後、凍結解凍し状態を観察したところ、いずれの糖を使ってもほぼ同様の効果が見られた (データは示していない) が、ソルビトールとデキストリン、各20%以上の濃度で併用したときに最も生に近い色調と食感をもっていった。この時の重量減少率は、約75%であった (図1-A)。これより重量減少率が低い場合、その低下に伴い凍結解凍後のキュウリの状態は悪化した。このことから、凍結前の脱水が重要であると考えられた。しかし、40%デキストリン単独処理でも十分に脱水される (図1) にも関わらず、キュウリの状態は20%ソルビトール+20%デキストリン処理に比べて悪かったことは、糖の種類およびその組合せも重要であることを示していた。

この様に、20%ソルビトール+20%デキストリンで処理した後に凍結したキュウリは、生のものに近い色合いを持ち (図2)、歯ごたえはそれ以上であった。また、頭

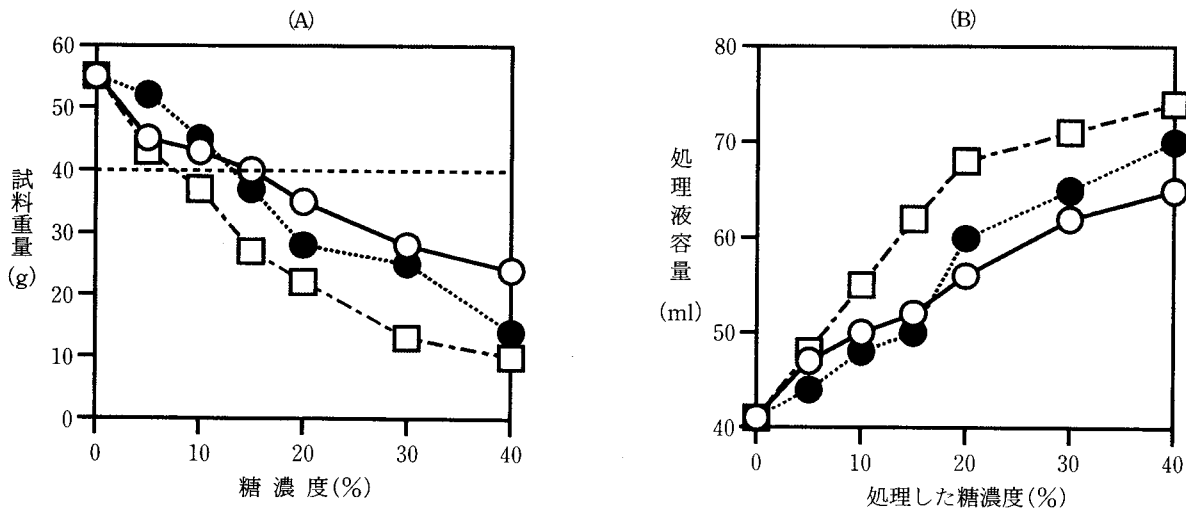


図1 糖処理したキュウリの重量および処理液の容量

生キュウリ 40 g にソルビトール、デキストリン、又はソルビトール+デキストリンを表記濃度になるように添加し全量を 100 ml にした。24 時間、糖液に浸漬後、キュウリ表面をよく拭き、重量を測定し試料重量とした(A)。処理液の容量は、キュウリを取り除いた残りの溶液を測定した(B)。

—○—；ソルビトール、—●—；デキストリン、—□—；ソルビトール+デキストリン

顕微鏡観察の結果は液胞が破壊されずに残っていることを示していた(図3)。液胞は植物の成熟細胞の大部分を占める細胞内器官であり、きわめて壊れやすい性質をもつために細胞破壊の指標となる。従って、液胞が残っているということは、細胞内の栄養成分が溶出せず細胞内にあると考えられ、栄養学的にも生のキュウリに近いと考えられる。同様にタマネギの場合も、食べた時の歯ごたえや見た目の色合いも生に近いものであり(図4)、凍結解凍後も液胞が壊れずに残っていた(図5)。

どのように糖がキュウリの凍結障害を抑制しているのかを解明するために、デキストリン処理のキュウリ組織内の糖濃度を測定した(図6)。外液の糖濃度は期待された濃度になっていた。組織内の糖濃度は外液の約 1/2 であったが、デキストリンがキュウリ組織内に浸透していることが示された。従って、デキストリンよりはるかに低分子のソルビトールは、分子数としてより多く組織内に浸透していると考えられるが、本実験ではソルビトール量がフェノール・硫酸法で検出できないため測定できなかった。ソルビトールの単位濃度当たりの脱水力はデキストリンよりも弱い(図1)が、低分子であるためデキストリンよりも多くの分子が組織に浸透し、氷点を降下させ、氷結晶の構造に影響を与えることで凍結障害を抑制しているのではないかと我々は考えている。これらの糖が細胞膜および細胞壁を細胞内外から保護している可能性も十分に考えられるが、現在のところそれを示す

データはない。

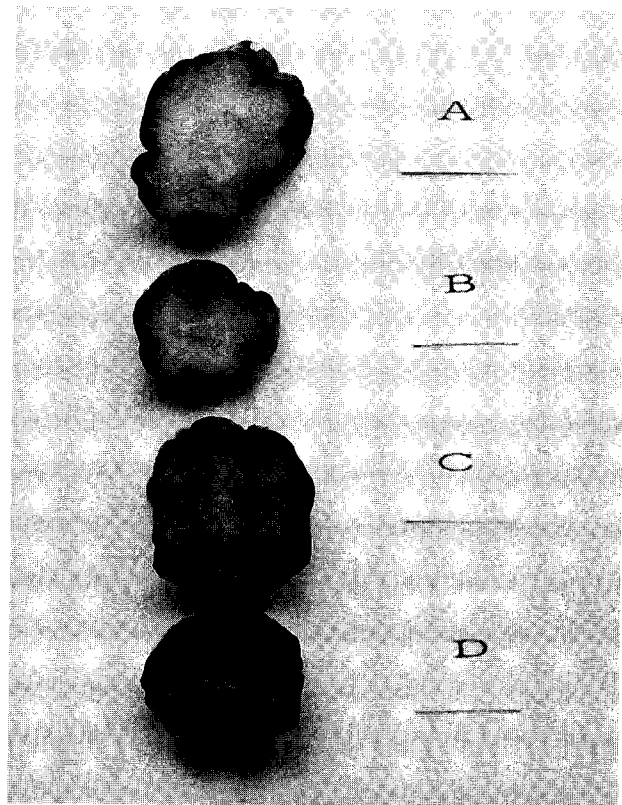


図2 凍結解凍後のキュウリの状態

A, Bはソルビトールとデキストリンの混合液(各20%濃度)で処理したもの、C, Dは未処理のもの。

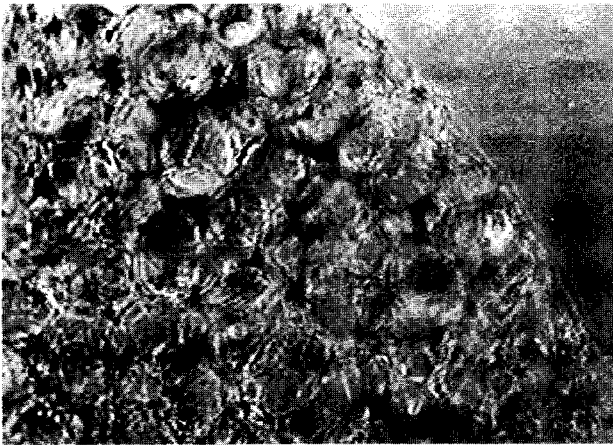


図3 凍結解凍後のキュウリの液胞
ソルビトールとデキストリンの混合液(各20%濃度)で処理したキュウリを凍結解凍し、液胞をニュートラルレッドで染色した。倍率：200倍

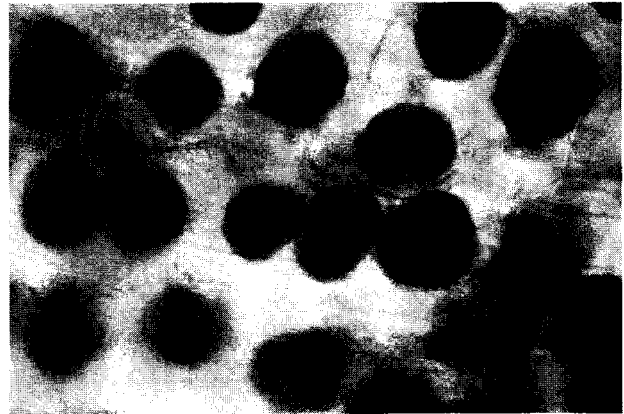


図5 凍結解凍後の紫タマネギの液胞
ソルビトールとデキストリンの混合液(各20%濃度)で処理したキュウリを凍結解凍したもの。液胞中のアントシアニン色素が赤紫色に染まっている。倍率：200倍

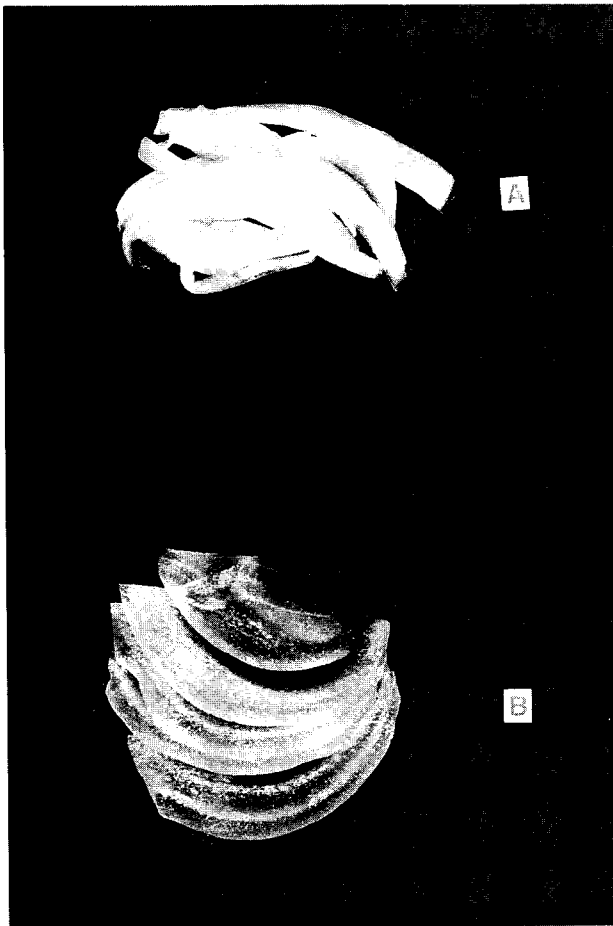


図4 凍結解凍後のタマネギの状態
Aはソルビトールとデキストリンの混合液(各20%濃度)で処理したもの。Bは未処理のもの。

3. 浅漬けの試食アンケート

糖処理後凍結保存したキュウリの浅漬けの試食アンケートでは、91名からの回答を得た。性別は男性37名、

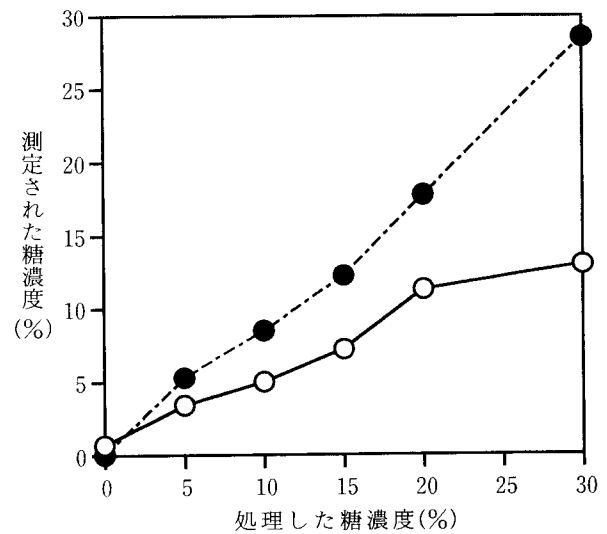


図6 糖処理したキュウリ組織内及び処理液の糖濃度
キュウリ40gに最終濃度が図に示した濃度になるようにデキストリンを添加し、水で100mlに調整した。24時間浸漬後、表面に付着しているデキストリンを洗い流し、ポリトロンで破碎し、フェノール・硫酸法で糖濃度を測定した。
—○—：細胞内の糖濃度、
--●--：処理液の糖濃度

女性54名であった。年齢は10代が28名で最も多かった。漬物が好きかとの問いには、77名が「好き」と答えた。本漬物に関する色、味、歯ごたえ(パリパリ感、シャキシャキ感)の評価では、それぞれ71名、56名、74名が「よい」と答え、「悪い」との回答はなかった。この漬物は好きかとの問いには62名が「好き」と答え、「嫌い」と答えた人は1名であった(図7)。従って、この試食アンケートは味に改良の余地があるが、本技術に関係のあ

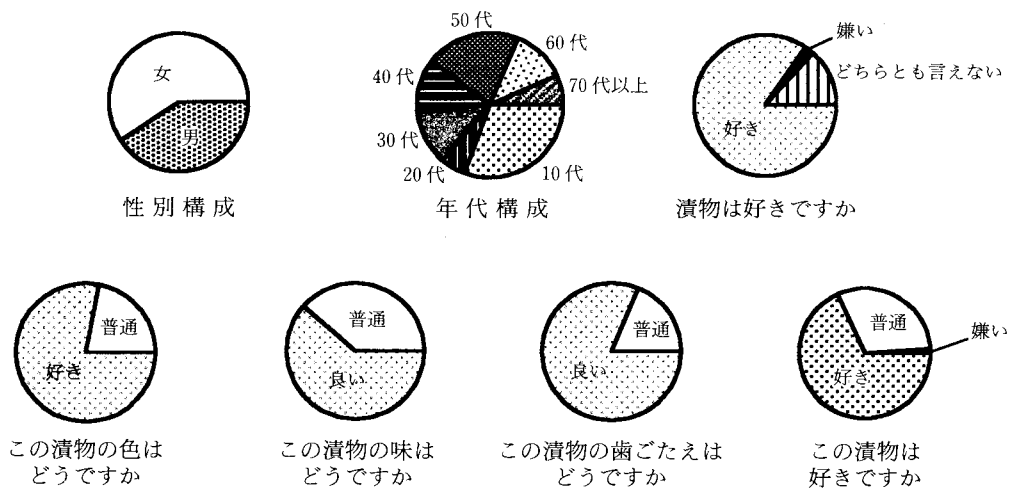


図7 凍結処理したキュウリを使った漬物のアンケート結果

る色、歯ごたえに関しては非常に良い評価をしている。

以上のことから、今回我々が開発した技術は野菜を生に近い状態で保存することを可能にするものであり、本技術で凍結された野菜は生野菜の代わりとしてサラダや浅漬けに利用できるものであることが示された。

要 約

生キュウリをそのまま急速凍結しても細胞内容物が溶出してスポンジ化し、良好に凍結保存することができなかった。生キュウリをソルビトールとデキストリンの混合液(各20%)で十分に脱水処理した後、急速凍結したものは、生のもの以上の歯ごたえを持ち、見た目は未処理キュウリのような暗く透き通った感じではなく、生に近い色合いを持っていた。さらに、液胞が破壊されず

に残っていたことから栄養学的にも良好であると思われた。同様に処理したタマネギも、生に近い歯ごたえや色合いをもっていた。また、糖処理後凍結保存したキュウリの浅漬けの試食アンケートでは、非常に良い評価が得られた。これらの結果は、今回我々が開発した技術が野菜を生に近い状態で保存することを可能にするものであり、本冷凍野菜が生野菜の代わりとしてサラダや浅漬けに利用できるものであることを示している。

参 考 文 献

- 1) 福井作蔵：生物化学実験法1 還元糖の定量法，第2版(学会出版センター，東京)，p.50(1990)。
- 2) 高井陸雄：食品と開発，34，8(1996)。
- 3) 吉田静夫：冷凍，71，41(1996)。